

Список литературы

1. D. A. Danilov, V. A. Volkovich, B. D. Vasin, I. B. Polovov, T. R. Griffiths, “Tungsten chemistry in alkali chloride melts”, *Z. Naturforsch.*, 2007, 62a, (12), 739–744.
2. А. М. Виноградов, А. В. Волкович, А. М. Жбанов, Б. Ф. Ковалев, С. К. Цыпленков, «Равновесные потенциалы вольфрама в расплаве KCl–KF–WCl₆», *Изв. вузов. Цвет. металлургия*, 1981, № 5, 71–74.
3. С. Н. Школьников, М. И. Манненков, А. К. Ярмолович, «Равновесные потенциалы вольфрама в расплаве хлоридов калия и натрия», *ЖПХ*, 1973, 46, № 9, 1918–1921.
4. М. И. Манненков, С. Н. Школьников, «Анодное растворение вольфрама в хлоридных и хлоридно-фторидных расплавах», *Изв. вузов. Цвет. металлургия*, 1974, № 1, 65–68.
5. A. B. Ivanov, V. A. Volkovich, D. A. Poskryakov, B. D. Vasin, T. R. Griffiths, “Electrode potentials of tungsten in fused alkali chlorides”, *AIP Conference Proceedings*, 2016, 1767, 020010 (1–6).

АНАЛИЗ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕРИИ 4А С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Савкин К.В., Шаманин Д.П.

Уральский федеральный университет г. Екатеринбург, Россия

savkinkostya@mail.ru

Аннотация. В данной статье предложен вариант разбития двигателей серии 4А на кластеры с помощью алгоритма k-means(k -средних). Проведен анализ переходных процессов в контуре тока для двигателей, находящихся в одном кластере, при настройке регулятора тока на центр кластера.

Ключевые слова: асинхронный двигатель; кластеризация; метод k-средних; электропривод; моделирование; переходные процессы.

ANALYSIS OF “4A” TYPE INDUCTION MOTORS WITH USING OF CLUSTERING METHODS

Savkin K., Shamanin D.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Method of «4A» type induction motors clustering via k-means algorithm is proposed in this paper. Analysis of transient processes in the current loop for induction motors in one cluster, when the current regulator is tuned to the center of the cluster is carried out.

Key words: induction motor; clustering; k-means; electrical drive; simulation; transient response.

На сегодняшний день существует огромное разнообразие асинхронных двигателей. Для точной настройки системы управления требуются параметры схемы замещения. Однако многие производители эти данные не предоставляют, а провести идентификацию не всегда возможно. Поэтому было бы гораздо удобнее разбить двигатели на группы, в которых настройка системы управления на усредненные значения не даст ощутимого ухудшения качества регулирования внутри одной группы.

Метод k-средних[5] – наиболее популярный метод кластеризации. В данной статье кластеризация выполнена с помощью инструментов среды Matlab.

Функция «kmeans» разбивает данные на k кластеров. Количество кластеров k задается пользователем. Функция «kmeans» рассматривает каждую точку в наборе данных, как объект, расположенный в пространстве. Она находит разбиение, при котором объекты внутри каждого кластера максимально приближены друг к другу, и максимально отдалены от объектов в других кластерах, насколько это возможно. Другими словами, действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров.

Каждый кластер определяется его объектами и его центроидой, или центром. Центроида – это точка, до которой минимизирована сумма расстояний от всех объектов в этом кластере.

В данной статье основой для кластеризации служат параметры схемы замещения в относительных единицах асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А.[1] Таких параметров пять: r_s – активное сопротивление обмотки статора, l_{σ} – индуктивность рассеяния обмотки статора,

r_r – активное сопротивление обмотки ротора, $l_{r\sigma}$ – индуктивность рассеяния обмотки ротора, l_{mN} – номинальная индуктивность намагничивания.

Для возможности визуализации полученных кластеров перейдем от пяти переменных к двум, для вычисления которых используются описанные выше параметры [3].

$$r_{sэ} = r_s + k_r^2 r_r, \quad (1)$$

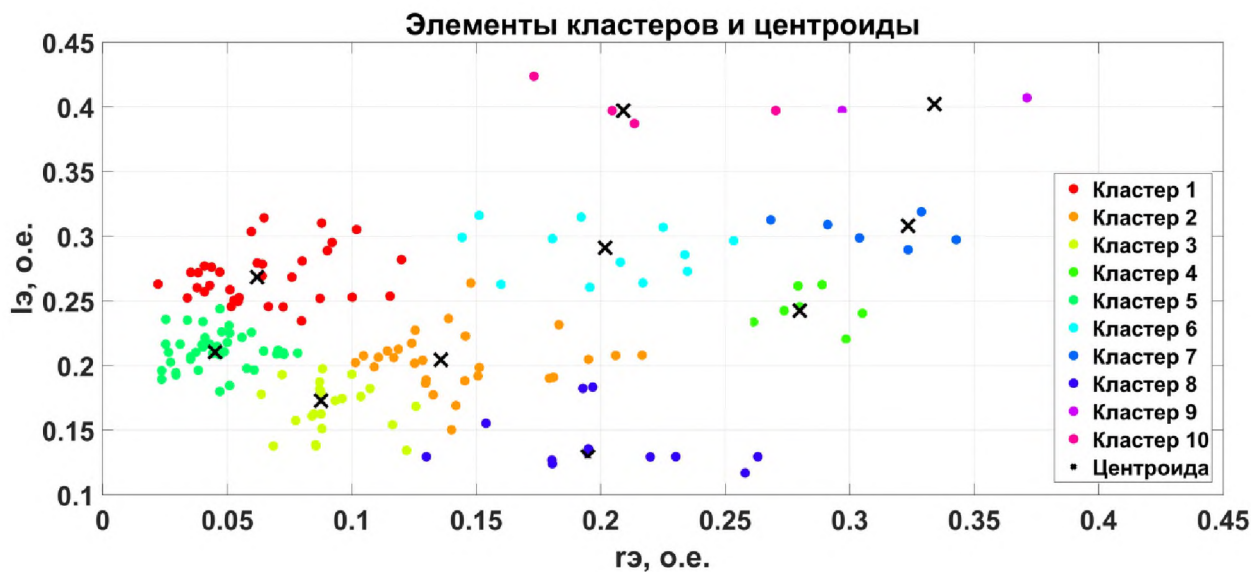
$$l_{sэ} = l_s + k_r l_{r\sigma}, \quad (2)$$

$$k_r = \frac{l_{mN}}{l_{mN} + l_{r\sigma}}, \quad (3)$$

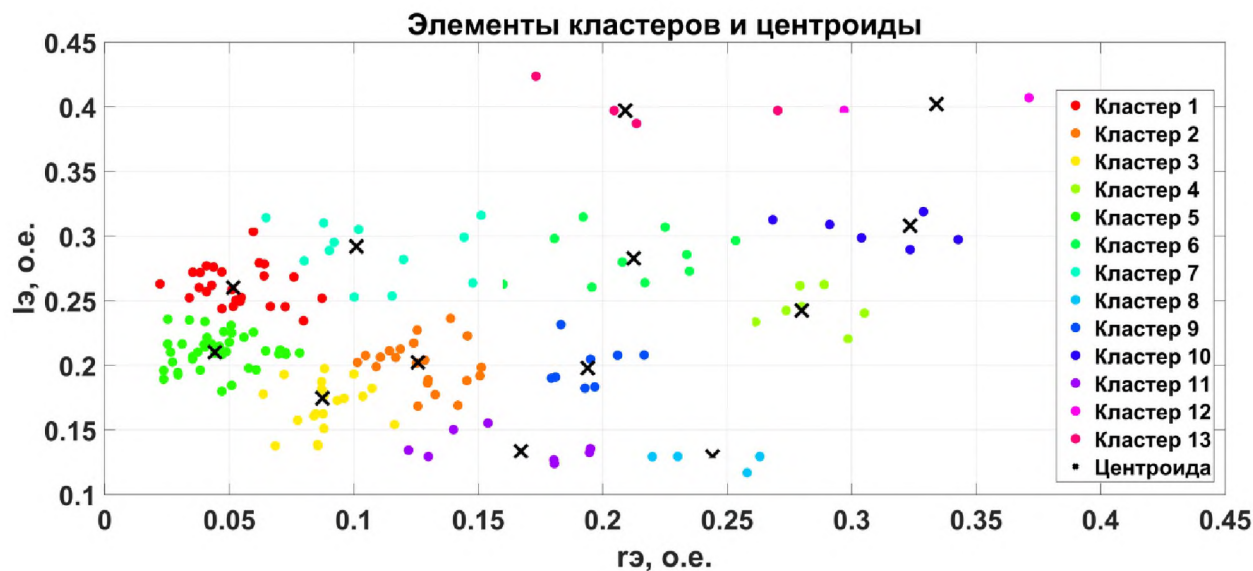
где $r_{sэ}$ – эквивалентное значение активного сопротивления фазы двигателя,

$l_{sэ}$ – эквивалентное значение индуктивности фазы двигателя, k_r – коэффициент связи ротора. Переход к двум переменным дает возможность построить точки на плоскости в координатах $r_{sэ}$, $l_{sэ}$.

В данной работе рассмотрено разбиение на 10 и 13 кластеров рисунок 1. Черными крестиками выделены центры кластеров.



а)



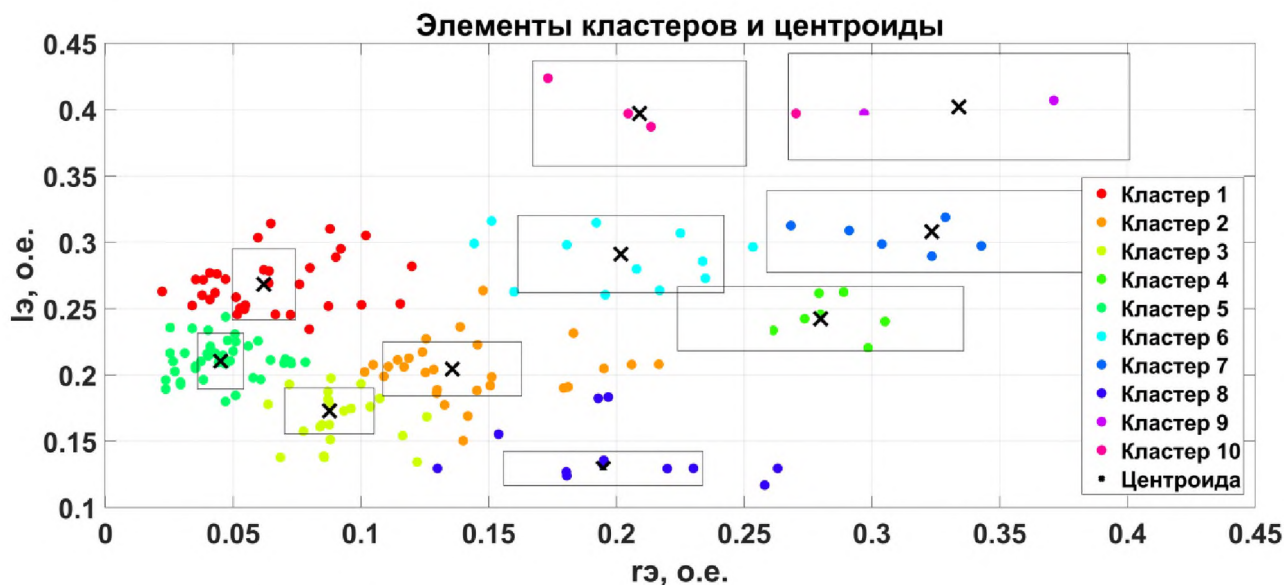
б)

Рисунок 1- Карта кластеров при разбиении на а) 10 и б) 13 кластеров

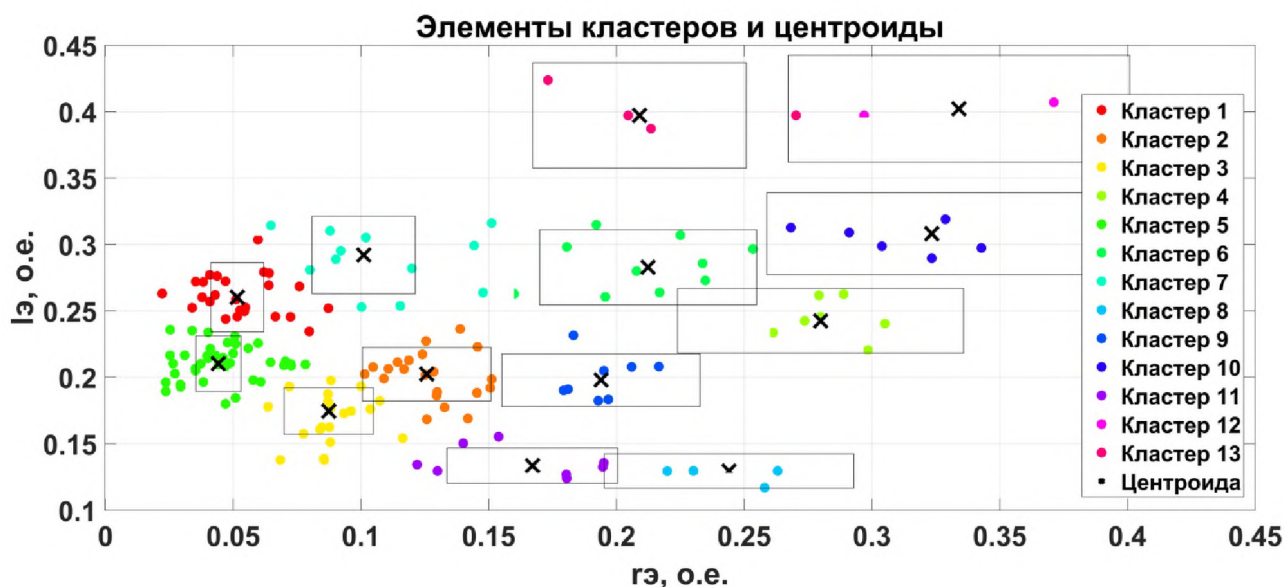
Сопоставив полученные данные, следует отметить, что группы, лидирующие по количеству двигателей, в основном обладают высокой мощностью. С другой стороны, группы двигателей, более отдаленных от начала координат обладают сильным разбросом относительно своего центра и представляют двигатели в основном малой мощности.

Чтобы оценить адекватность кластеризации были установлены допустимые отклонения: отклонение по индуктивности от центра кластера $\pm 10\%$ и отклонение активного сопротивления $\pm 20\%$. Идеально, если все объекты кластера будут находиться в допустимой области.

Допустимые области выделены на рисунке 2. Следует отметить, что область допустимых отклонений меняется в зависимости от самих значений параметров. Так, допустимая область в зоне малых I_{Σ} и g_{Σ} меньше, чем в зоне больших I_{Σ} и g_{Σ} . Поэтому желательно, в зоне малых I_{Σ} и g_{Σ} разбивать на кластеры меньшего размера.



а)



б)

Рисунок 2 - Карта кластеров с допустимыми областями при разбиении на
а) 10 и б) 13 кластеров

На рисунке видно, что некоторые двигатели выходят за границы кластера, к которому они принадлежат. Сравнивая распределение на 10 кластеров и на 13, можно сказать, что для 13 кластеров двигателей, превышающих отклонения, меньше. Исходя из этого, можно сделать очевидный вывод, что при увеличении количества кластеров отклонения объектов от центроиды будут уменьшаться.

Регулятор построен в соответствии с общими принципами проектирования систем подчиненного регулирования(СПР)[4].

В соответствии с типовой методикой синтеза регуляторов обеспечивающих настройку на модульный оптимум передаточная функция регулятора имеет вид:

$$R_{ix,y}(p) = k_{PT} + \frac{1}{T_{PT}p}, \quad (4)$$

В этой формуле коэффициент усиления k_{PT} и постоянная времени регулятора тока T_{PT} определяются по следующим формулам:

$$k_{PT} = \frac{r_{сэ}T_{э}}{T_i}, \quad (5)$$

$$T_{PT} = \frac{T_i}{r_{сэ}}. \quad (6)$$

Некомпенсированная постоянная времени принята: $T_{\mu}=0,01\text{с}$. В данной работе влияние перекрестных связей в двигателях не учитывается.

Как говорилось ранее, идея заключается в настройке системы управления на некое среднее значение. В данном случае настройка контура тока выполняется исходя из значений параметров схемы замещения, которые соответствуют центру того кластера, которому принадлежит двигатель.

В качестве примера на рисунке 3 представлены переходные процессы контура тока двигателей, принадлежащих конкретному кластеру, переходный процесс при настройке регулятора на параметры центроиды (утолщенная синяя линия) и переходные процессы при отклонении параметров объекта на $\pm 10\%$ по $I_{э}$ и $\pm 20\%$ по $r_{э}$ (утолщенные красные линии).

Последние показывают допустимые пределы для переходных процессов. Другими словами, нежелательно, чтобы кривые переходных процессов выходили за красные линии.

Для оценки качества регулирования был использован интегральный показатель качества. Для каждого переходного процесса контура тока был посчитан интегральный показатель, после чего был выполнен его пересчет в процентное отклонение от значения показателя для процесса, настроенного на модульный оптимум.

Интегральный показатель качества для каждого переходного процесса рассчитывается по следующей формуле (7)[4]:

$$J_k = \int_0^{\infty} (x^2 + T^2 \cdot x'^2) dt \quad (7)$$

Переменная x является ошибкой от заданного значения в контуре тока. Поскольку настройка контура ведется на модульный оптимум, в переменную T подставляется значение T_{μ} . Формула (7) учитывает не только отклонение от заданного значения, но и ее производную, а именно в данном эксперименте –

производную тока. Такой подход позволяет более точно отразить различие переходных процессов.

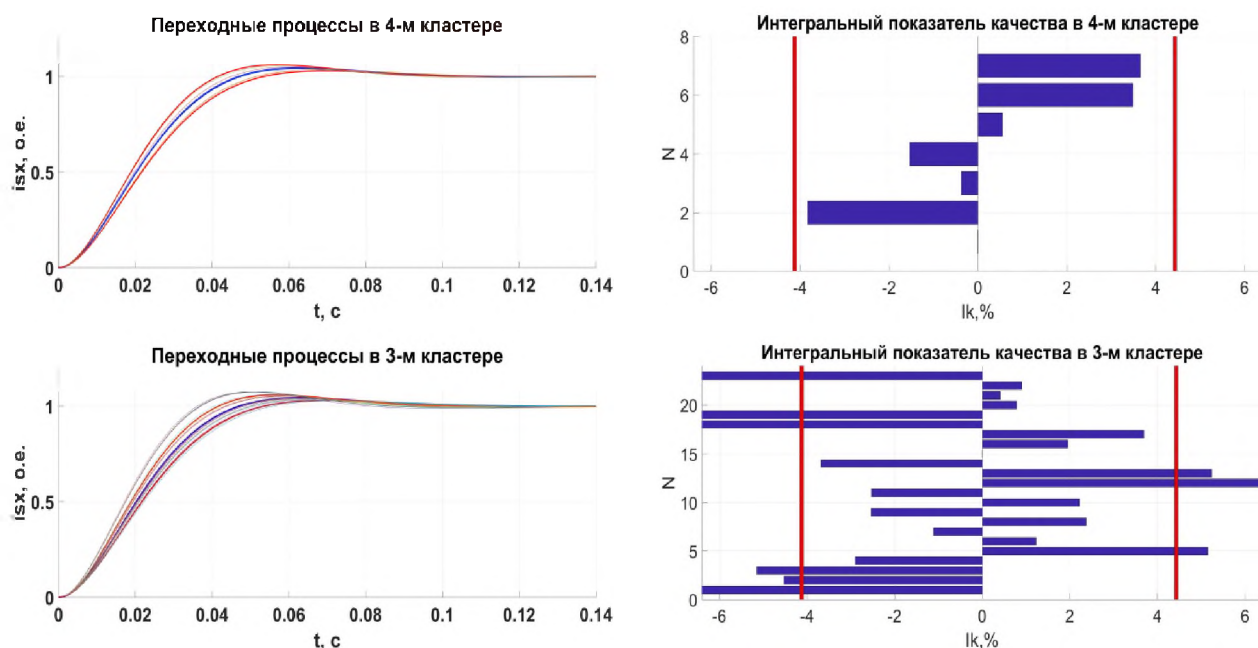


Рисунок 3 - Переходные процессы в контуре тока и процентное отклонение интегрального показателя качества от модульного оптимума в четвертом кластере и третьем кластере при разбиении на 10 кластеров

Рисунок 3 демонстрирует отклонение показателей качества переходного процесса каждого двигателя. Вертикальными линиями показаны допустимые отклонения параметров двигателя от их начальных значений. Диаграмма четвертого кластера показывает, что все двигатели выбранного кластера не превышают допустимое отклонение, что свидетельствует о незначительном ухудшении качества регулирования контура тока.

С другой стороны, имеются кластеры, например, 3-й, показатели которых существенно превышают допустимые отклонения.

Для того, чтобы уменьшить количество тех двигателей, которые превышают допустимые отклонения, необходимо увеличить количество кластеров.

Для примера на рисунке 4 представлены соответственно переходные процессы и диаграммы показателей качества для конкретных кластеров при разбиении тех же двигателей на 13 кластеров.

Рисунок 4 показывает, что даже при разбиении на 13 кластеров имеются двигатели, интегральные показатели качества которых превышают допустимые отклонения.

В данном исследовании двигатели серии 4А были распределены на группы (кластеры) по эквивалентным параметрам схемы замещения. С целью проверки качества были построены переходные процессы контура тока для каждого

двигателя, регуляторы которых настроены на параметры центроиды. Для оценки качества регулирования использовался интегральный показатель качества.

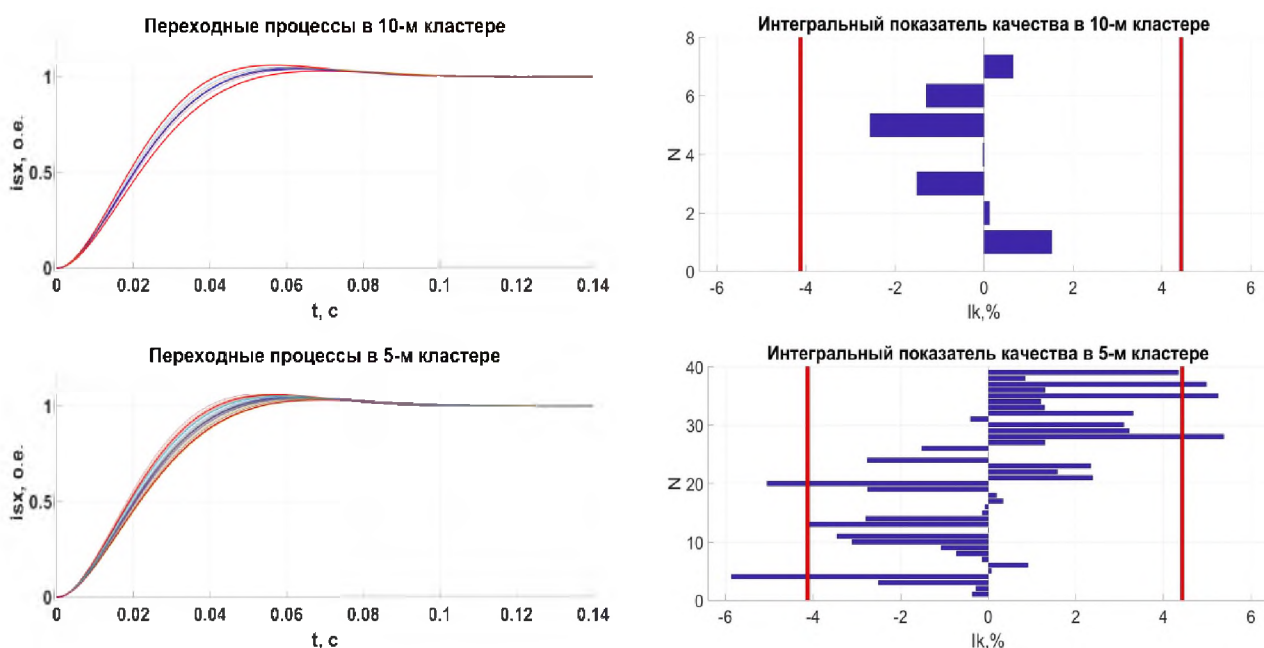


Рисунок 4 - Переходные процессы в контуре тока и процентное отклонение интегрального показателя качества от модульного оптимума десятом кластере и пятом кластере при разбиении на 13 кластеров

Оценивая полученные данные следует отметить, что при увеличении количества кластеров уменьшается количество двигателей, качество которых превышает допустимое отклонение.

В последующих работах планируется найти оптимальное разбиение данных двигателей на кластеры. Для реализации этой задачи, в первую очередь, актуален поиск оптимального числа кластеров, а также применение различных современных алгоритмов.

Список литературы

1. А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф и др. «Асинхронные двигатели серии 4А», справочник, - М.: Энергоиздат, 1982, 504с.
2. Р.Т. Шрейнер «Системы подчиненного регулирования электроприводов» Ек.: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т» 2008, 279с.
3. Р.Т. Шрейнер «Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты», Ек.: УРО РАН, 2000, 654с.
4. В.А. Бесекерский «Теория систем автоматического управления», уч. издание, - СПб.: Издательство «Профессия», 2003, 747с.

5. Kaufman L., and P. J. Rousseeuw. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 1990.

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Смольянов И.А., Сарapultов Ф.Н.

Уральский федеральный университет г. Екатеринбург, Россия

i.a.smolianov@urfu.ru

Аннотация. В работе представлена упрощенная математическая модель линейного асинхронного двигателя для изучения его термических режимов. Модель учитывает выделение тепла из активной зоны из-за перемещения вторичного элемента. Оценка влияния скорости двигателя на температуру элементов его конструкции.

Ключевые слова: линейный асинхронный двигатель, нагрев конструкции, численное моделирование, тепловые схемы замещения.

THERMAL CALCULATION OF LINEAR INDUCTION MOTOR

Smolyanov I., Sarapultov F.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The report presents a simplified mathematical model of linear induction motor to study its thermal regimes. The model takes into account the heat removal from the active zone due to the movement of the secondary element. The estimation of influence of motor speed on the temperature of the elements of its design.

Key words: linear induction motor, heating of a design, numerical modeling, thermal equivalent circuits.

Сотрудниками Донецкого национального технического университета (Украина), Уральского государственного технического университета (ныне Уральского федерального университета), а также Первомайским электромеханическим заводом (г. Первомайск, Луганской области, Украина) был разработан тяговый электропривод транспортной системы для Междуреченского ГОК «Кемеровоуголь» (Рис. 1)[1; 2].